

酵母タンパク質のかまぼこへの利用適性について

田 端 義 明

The Aptitude of Yeast Protein for Use as by-Material of Kamaboko

Yoshiaki TABATA

By measuring dynamic viscoelasticities of single cell proteins (SCP) and activated gluten (A-glu) with 3-D Rheometer following Markovitz's ⁸⁾ equation, the author obtained the following results:

1) Generally, viscoelasticities were difficult to measure at pH lower than neutral, and they increased with ascend of pH but decreased after the arrival at pH 10~11. Particularly the viscoelasticity of acetic acid assimilating yeast protein (SCP₃) was greatly affected by pH.

2) In alkaline peptised solutions (pH 10.5), the shear moduli (G') of SCP₃ was the highest and that of A-glu the lowest at the same concentration of 12.5%.

3) Variations of viscoelasticities of alkaline peptised solutions (pH 10.5) due to change in temperature were nearly logarithmic in general. It is noteworthy, that dissipation factor ($\tan \delta$) of SCP₃ was almost indifferent to temperature.

4) The viscoelasticities of both SCP₃ and A-glu decreased by addition of a small quantity of sodium chloride in the alkaline peptised state (pH 10.5) but increased by further addition (about 0.5 M in solution). Hydrocarbon assimilating yeast proteins were fairly different from the other two by-materials in this respect.

5) Hydrocarbon assimilating yeast proteins sometimes showed ups and downs in variation curves of viscoelasticities. Moreover, they contained far more lipid than SCP₃ and A-glu.

人口の増加に伴いタンパク質の不足が危惧されている。この問題は近代の農業や水産業を充分に活用しても解決は困難であり、このため単細胞生物タンパク質 (Single Cell Protein — 以後 SCP と略記する) なども将来のタンパク資源として、その利用に期待が寄せられている。

早川ら¹⁻⁷⁾は SCP の研究において、ICM 方式 (衝撃式細胞破砕法) の開発とそれによって分離したタンパク質の食糧化を試みて成果を得ているが、著者は共同研究の立場から、ここで得られた SCP を水産ねり製品への添加物として利用し得るか否かについて検討を行なったので、以下次報⁸⁾とともにそれらの結果を報告する。

この報告では従来よりかまぼこ生地改良剤として用いられている活性グルテン (A-glu) との比較において、それらの動的粘弾性を調べた結果について述べる。

実 験 方 法

材料 炭化水素資化性酵母 (*Candida* 属: 鐘淵化学工業 (株) 製)

酢酸資化性酵母 (*Candida* 属：(株) 興人製)

活性グルテン (江崎グリコ栄養食品(株) 製)

試料調製方法 酵母タンパク質は Fig. 1 の手順により調製した。

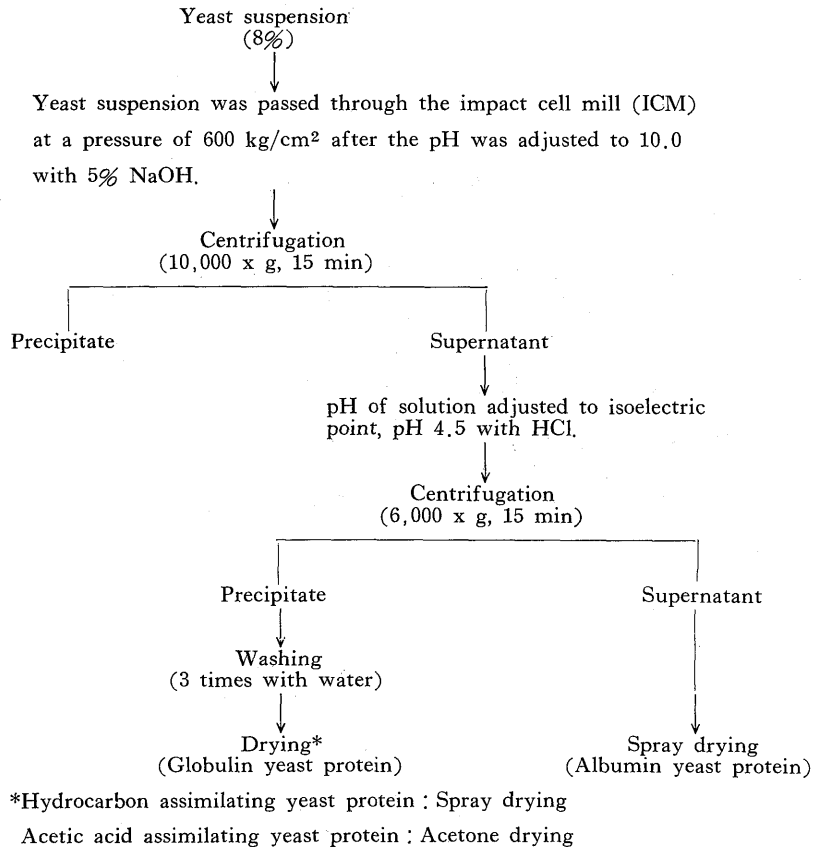


Fig. 1. Preparation of yeast protein (SCP).

タンパク質ゲルは、まず脱イオン水で分散後、実験に応じて pH、塩濃度、温度などを調節してホモブレンド (8,000rpm) で15分間攪拌後、遠心分離機で脱泡して調製した。

粘弾性測定 動的粘弾性の測定には 3-D レオメーター (岩本製作所製) を用い、試料の動的弾性率 G' および動的粘性係数 η' は MARKOVITZ の式^{9,10)} から算出した。そして動的損失 G'' および損失正接 $\tan\delta$ は (6), (7) 式を用いて求めた。

いま振幅比を p , 位相差角を ϕ , 複素粘性を η^* , 外筒の角振動数を ω , 被測定溶液の比重を ρ とすると MARKOVITZ の式はつぎのようになる。

$$1 - \frac{\cos\phi}{p} - i \frac{\sin\phi}{p} - i \frac{1}{\eta^*} \left[(A_1 + B_1\rho)\omega - \frac{C_1}{\omega} \right] - \frac{1}{\eta^{*2}} \left[(A_2 + B_2\rho)\rho\omega^2 - C_2\rho \right] - \frac{1}{\eta^{*3}} \left[(A_3 + B_3\rho)\rho^2\omega^3 - C_3\rho^3\omega \right] + \dots = 0$$

ただし

$$A_1 = \frac{I}{4\pi h} \left(\frac{1}{r_b^2} - \frac{1}{r_c^2} \right) \quad B_1 = \frac{(r_c^2 - r_b^2)^2}{8r_c^2} \quad C_1 = \frac{KA_1}{I}$$

$$\begin{aligned}
A_2 &= \frac{1}{32\pi h} \left(4 \ln \frac{r_b}{r_c} + \frac{r_c^2}{r_b^2} - \frac{r_b^2}{r_c^2} \right) \\
B_2 &= \frac{1}{192r_c^2} \left((r_c^2 - r_b^2) (r_c^4 - 5r_c^2 r_b^2 - 2r_b^4) + 12r_c^2 r_b^4 \ln \frac{r_c}{r_b} \right) \\
C_2 &= \frac{KA_2}{I} \\
A_3 &= \frac{1}{768\pi h r_c^2 r_b^2} \left(12r_c^2 r_b^2 (r_c^2 + r_b^2) \ln \frac{r_c}{r_b} \right. \\
&\quad \left. - (r_c^2 - r_b^2) (r_c^4 + 10r_c^2 r_b^2 + r_b^4) \right) \\
B_3 &= \frac{-1}{9216r_c^2} \left(24r_c^2 r_b^4 (3r_c^2 + 2r_b^2) \ln \frac{r_c}{r_b} \right. \\
&\quad \left. + (r_c^2 - r_b^2) (r_c^6 - 11r_c^4 r_b^2 - 47r_c^2 r_b^4 - 3r_b^6) \right) \\
C_3 &= \frac{KA_3}{I}
\end{aligned}$$

以上はすべて装置定数であり、また r_c は外筒半径、 r_b は内筒半径、 h は内筒の浸液長、 I は内筒を含む全従動部の慣性モーメント、 K はワイヤ定数である。

振動数が5~100Hz では C_1 , C_2 , C_3 を含む項は微小となるので、これを無視することができる。さらに振動数が低くなると $(A_2 + B_2\rho)\rho\omega^2$, $(A_3 + B_3\rho)\rho^2\omega^3$ 以下も無視することができるが、 C_1 を含む項は無視できなくなる。また非常に低い振動数では $(A_1 + B_1\rho)\omega$ の項も微小となる。

$(A_1 + B_1\rho)\omega - C_1/\omega = Q$ とすると低振動数における MARKOVITZ の式はつぎのようになる。

$$1 - \frac{\cos\phi}{p} + i \frac{\sin\phi}{p} + i \frac{1}{\eta^*} Q = 0 \dots\dots (1)$$

今 $\eta^* = \eta' - i\eta''$ とし、これを (1) 式に代入して式を整理すると、

$$1 - \frac{\cos\phi}{p} - \frac{\eta''Q}{(\eta')^2 + (\eta'')^2} = 0 \dots\dots (2)$$

および

$$\frac{\sin\phi}{p} + \frac{\eta'Q}{(\eta')^2 + (\eta'')^2} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

とかけられる。

$$(2), (3) \text{ 式において } 1 - \frac{\cos\phi}{p} = X \quad \frac{\sin\phi}{p} = Y \text{ とすると}$$

$$\frac{\eta'}{(\eta')^2 + (\eta'')^2} = \frac{-Y}{Q}, \quad \frac{\eta''}{(\eta')^2 + (\eta'')^2} = \frac{+X}{Q}$$

となり、この式から η' や G' などが求められる。

動的粘性 (η')

$$\eta' = \frac{-YQ}{X^2 + Y^2} \dots\dots\dots (4)$$

動的弾性 (G')

$$G' = \omega\eta'' = \frac{+XQ\omega}{X^2 + Y^2} \dots\dots\dots (5)$$

動的損失 (G'')

$$G'' = \omega\eta' \dots\dots\dots (6)$$

損失正接 ($\tan \delta$)

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} = \frac{1}{\omega \tau} \dots \dots \dots (7)$$

分析方法 水分、粗タンパク質、粗脂肪、炭水化物および粗灰分は食品の一般分析により、またアミノ酸組成の分析は6規定塩酸加水分解物について、(株)柳本製作所製の LC-5 S 型を用いて行なった。

実 験 結 果

pH の影響 水産ねり製品の足はアクトミオシンが加熱されることにより網目構造を形成することによるものと考えられているが¹¹⁻¹³⁾、網目構造はすり身ゾル状態ないしは“坐り”の状態における pH の影響を受けることが予想される。Fig. 2 に試料の粘弾性と pH の関係を示す。

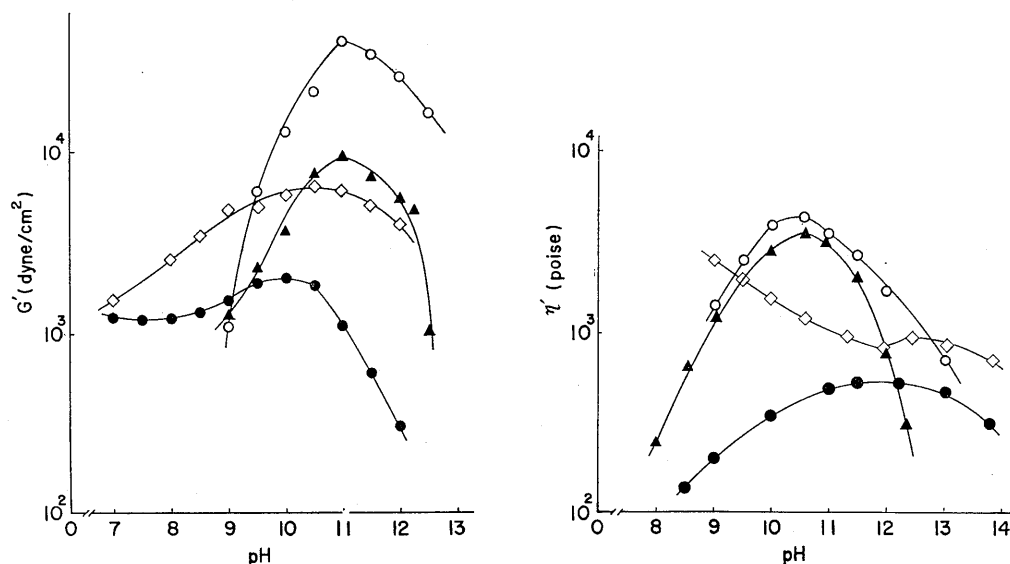


Fig. 2. Effects of pH on dynamic viscoelasticity of various kinds of protein.
 Conditions : At room temperature, concentration of protein 12.5% and frequency of 0.3 Hz.
 Open circle : Acetic acid assimilating yeast protein.
 Closed triangle : Hydrocarbon assimilating yeast protein (Globulin).
 Open square : Hydrocarbon assimilating yeast protein (Albumin).
 Closed circle : Vital-Gluten (A-glu).

A-glu は足形成能を有しているため、水産ねり製品の改良剤として利用されているが、中性領域では難溶性のため粘弾性の測定は困難であり、この点は SCP についても同様であった。このため以下の実験はすべてアルカリ解膠液について行なった。

pH の上昇はタンパク質分子のアンフォルディング (unfolding) を促進し、分子の溶解性向上と共に G' 、 η' の上昇を示したが、A-glu の G' 、 η' は SCP に比較してかなり低いものであった。

SCP の一部における η' の例外を除き一般に G' 、 η' は pH 10~11 付近まで上昇し、それ

以上では減少を示した。すなわちアルカリによるある種の分解がおきているものとする。

タンパク質濃度 タンパク質濃度は網目の密度に関係を有し、ゲルの強度に強い影響を与える。Fig. 3 に試料の濃度と粘弾性との関係を示す。

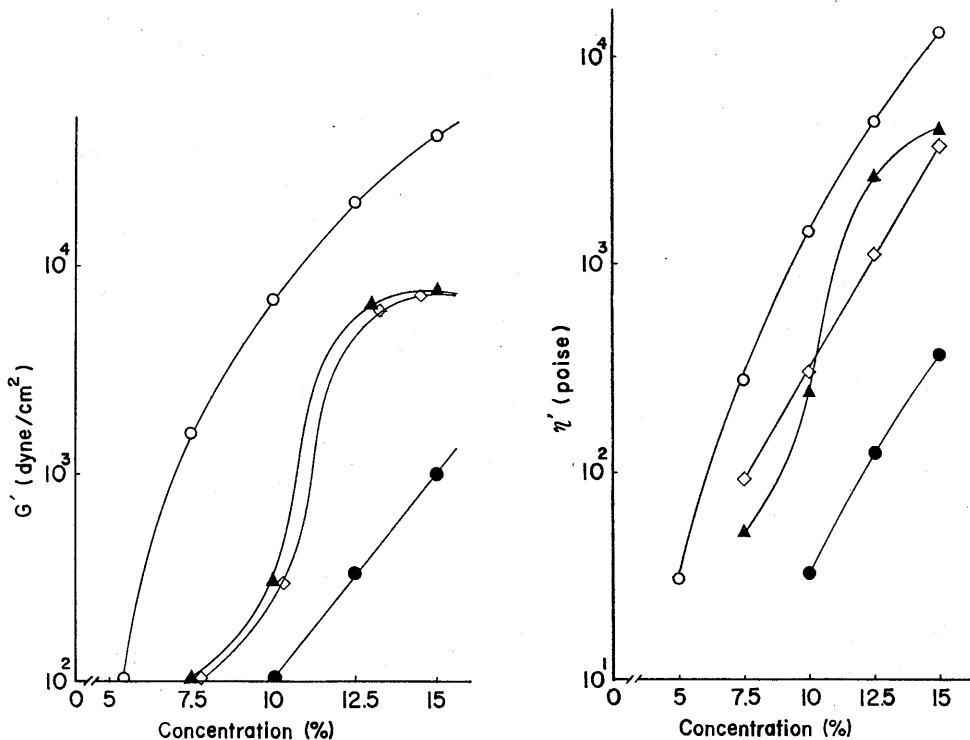


Fig. 3. Effects of concentration of protein on dynamic viscoelasticity.
Conditions: The same as Fig. 2 except pH, pH is 10.5.
Descriptions for symbols are identical with Fig. 2.

同一濃度 (12.5%) では G' の最高値は酢酸資化性酵母タンパク質が示し ($G' \div 2 \times 10^4$ dyne/cm²), 最小値は A-glu ($G' \div 3 \times 10^2$ dyne/cm²) であって、前者の約 1/100 の値を示した。また炭化水素資化性酵母タンパク質のグロブリン系のものとアルブミン系のものについて調べた結果、前者と後者では前者がやや高い値を示したが、ほぼ 6.5×10^3 dyne/cm² 付近であり、両者の間に余り差はみられず、酢酸資化性酵母と炭化水素資化性酵母との間における種類の差が大きくみられた。

粘弾性分布曲線 かまぼこは熱レオロジー的に単純な系と考えられており¹⁴⁾、良好な製品は粘弾性分布曲線に起伏はみられない。したがって分布曲線に起伏の少ないものが副原料として問題が少ないと考えられる。Fig. 4 に試料の分布曲線を示す。

A-glu はたいらな曲線を示し、熱レオロジー的に安定であることが明らかであるが、酢酸資化性酵母タンパク質は 40°C 以上での G' の減少が大きく現われた。しかし特異的な変化は認められなかった。

Fig. 5 にこれらの試料の温度変化による $\tan \delta$ を示す。いずれも特異的な変化はみられないが、酢酸資化性酵母タンパク質および炭化水素資化性酵母タンパク質のグロブリン系のものに温度依存性の少ない点が注目される。

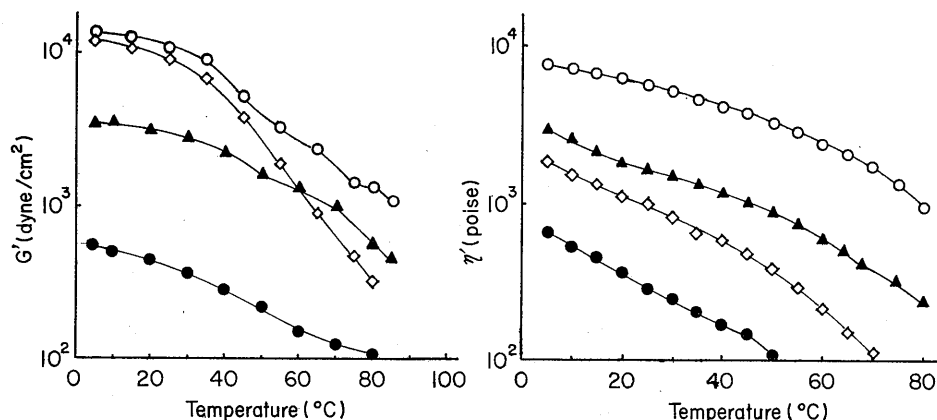


Fig. 4. Effects of temperature on G' and η' of various kinds of protein at concentration 12.5%.

Descriptions for conditions and symbols are identical with Fig. 3.

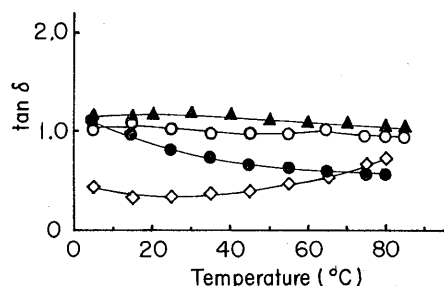


Fig. 5. Effects of temperature on $\tan \delta$ of various kinds of protein at concentration 12.5%.

Descriptions for conditions and symbols are identical with Fig. 3.

食塩の影響 魚肉に食塩を加えて搗潰すると坐りが促進される。すなわち食塩添加後ある程度時間がたてばタンパク質分子に何らかの変化が起こることが考えられる。Fig. 6 に試料の粘弾性に対する塩濃度の影響を示す。

A-glu および酢酸資化性酵母タンパク質の G' , η' ともに食塩無添加のものより食塩濃度を増すにつれて減少を示し, 0.5M を境にして増加しはじめる。炭化水素資化性酵母タンパク質はグロブリンにわずかにその傾向がみられるが, 前二者とは食塩の濃度変化に対する粘弾性の性質がこの点でかなり大きく異なっていることが認められる。

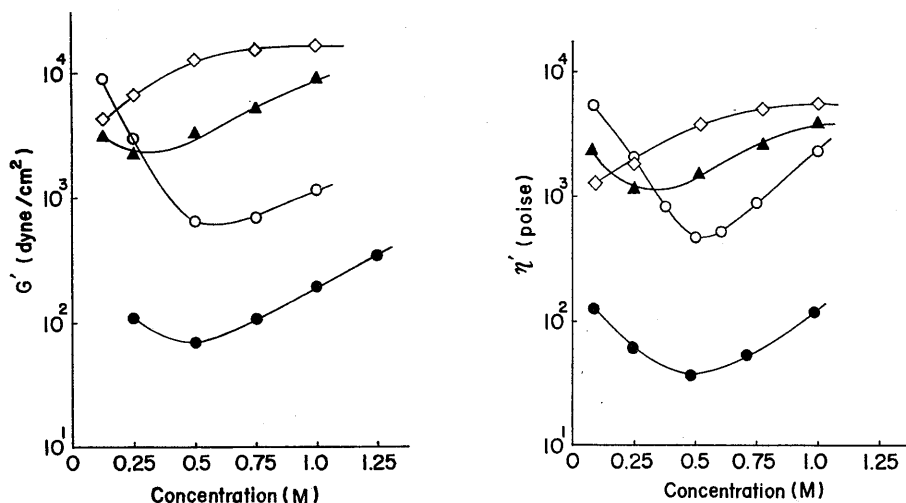


Fig. 6. Effects of NaCl concentration on dynamic viscoelasticity of protein.

Descriptions for conditions and symbols are identical with Fig. 3.

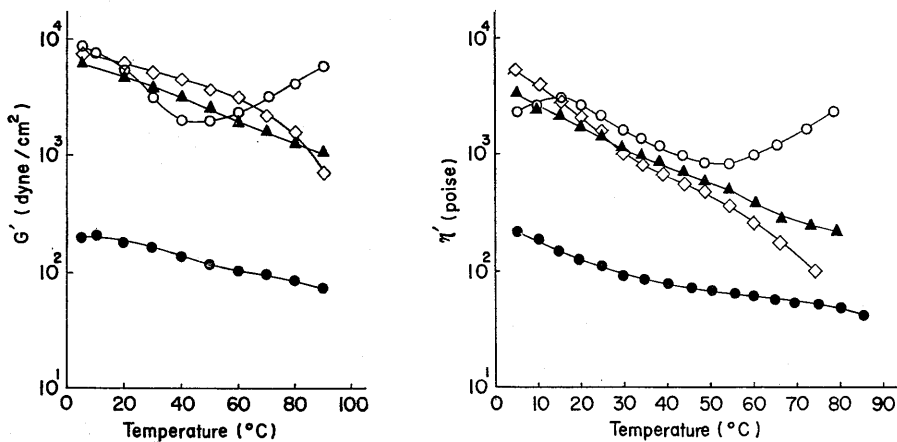


Fig. 7. Effects of temperature on G' and η' of various kinds of protein containing 1.0 M NaCl.
Descriptions for conditions and symbols are identical with Fig. 3.

Fig. 7 に 1.0M 食塩添加における粘弾性分布曲線を示す。A-glu のそれは起状がなく平らな形を示した。これに反して酢酸資化性酵母タンパク質は食塩の影響が強く現われ、ゲルの調製が困難であった。なおゲル調製時に多量の空泡が混入するため、測定データの信頼性について一部疑問が残るが、高温領域では脱泡も進み均一なゲルが形成され、45~50°C 以上では G' 、 η' とともに温度に比例して増加した。

SCP の一般的な成分組成およびアミノ酸組成を Table 1 および 2 に示す。

Table 1. General analysis of yeast proteins and vital-Gluten (A-glu).

	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Carbohydrate (%)	Crude ash (%)
Acetic acid assimilating yeast protein	7.60	81.50	0.62	6.25	4.03
Hydrocarbon assimilating yeast protein (Globulin)	7.00	78.03	7.87	3.91	3.19
Hydrocarbon assimilating yeast protein (Albumin)	7.30	77.66	8.12	4.88	2.04
Vital-Gluten (A-glu)	5.20	82.48	1.57	9.81	0.94

炭化水素資化性酵母タンパク質が酢酸資化性酵母タンパク質に比べて、脂質含有量の多いことが特に注目される。アミノ酸組成に酸性アミノ酸の多い点は両者ほぼ同様であるが、酢酸資化性酵母タンパク質の方が炭化水素資化性酵母タンパク質に比べてやや少なく、しかも、これに相当してリジン、アルギニン等の塩基性のものが多いので酢酸資化性酵母タンパク質のアミノ酸組成は比較的バランスがとれているように思われる。

Table 2. Amino acid compositions of hydrocarbon assimilating yeast protein (Globulin : SCP₂) and acetic acid assimilating yeast protein (SCP₃).

Amino acids	SCP ₂ (%)	SCP ₃ (%)
Lysine	7.54	8.16
Histidine	2.24	2.40
Arginine	4.25	5.89
Aspartic acid	12.32	11.13
Threonine	5.10	5.10
Serine	4.72	5.51
Glutamic acid	14.92	14.15
Proline	4.42	4.11
Glycine	4.86	3.81
Alanine	6.10	3.04
Valine	6.90	6.83
Methionine	1.22	2.23
Isoleucine	6.61	6.67
Leucine	8.90	9.41
Tyrosine	4.30	4.76
Phenylalanine	4.38	5.73
NH ₃	1.22	1.08
Total	100.00	100.01

Note : Analyses were made on hydrolysates of 6N HCl by Yanagimoto's analyzer (LC-5S).

かまぼこ副原料としては性質が劣っているように考えられる。しかし炭化水素資化性酵母タンパク質の脂質含有率が高いことを考えれば、アセトン乾燥などの調製方法の利用により、その性質の改良も考えられる。

以上に酢酸資化性酵母タンパク質のかまぼこ副原料としての有望性について述べたが、一般に中性付近の pH を有するかまぼこに対して、アルカリ解膠液の性質を述べたのであるから、最終的にはかまぼこ製造試験に待たなければならないものと考えられる。

考 察

アルカリ解膠状態における動的粘弾性の比較を、各種 SCP と A-glu について行なった結果、SCP の中でも酢酸資化性酵母タンパク質は、稀食塩濃度で粘弾性の低下をもたらし、0.5 M 付近から増大する傾向があり、温度変化の点などで A-glu に似た点が認められる。ずれ弾性率 (G') は A-glu より大きく、損失正接 ($\tan\delta$) も比較的小さいので弾力のゲルを形成する点で A-glu に優り、また $\tan\delta$ に温度依存性の少ない特殊性もある。これらの点より考えて酢酸資化性酵母タンパク質のかまぼこ副原料としての性質は、従来より利用されている A-glu に比べてすぐれていることも考えられる。

他の SCP すなわち炭化水素資化性酵母タンパク質は種々の粘弾性変化曲線に起伏がみられるなど、酢酸資化性酵母タンパク質や A-glu と異なった性質がみられ、ずれ弾性率も酢酸資化性酵母タンパク質に比べて低いので、

要

約

各種 SCP および A-glu の動的粘弾性を、3-D レオメーターを用いて調べ次の結果を得た。

1. 一般に中性以下における測定は困難であった。粘弾性は pH の上昇とともに増加を示すが、pH 10~11 付近より減少の形に転ずる。特に酢酸資化性酵母タンパク質は pH の影響を受けることが大きい。

2. アルカリ解膠液 (pH 10.5 付近) におけるずれ弾性率 (G') は同一濃度 (12.5%) において、酢酸資化性酵母タンパク質が最も大きく、A-glu が最も小さい。

3. 温度変化にともなうアルカリ解膠液 (pH 10.5 付近) の動的粘弾性変化はすべて指数曲

線で直線性に近いが、酢酸資化性酵母タンパク質の損失正接 ($\tan \delta$) の温度依存性の少ない点が注目される。

4. アルカリ解膠液に食塩を添加した時の影響は、酢酸資化性酵母タンパク質および A-glu では稀食塩濃度では粘弾性の減少をもたらし、0.5M 付近から増大する。炭化水素資化性酵母タンパク質はこの点が前二者と異なる。

5. 炭化水素資化性酵母タンパク質は、粘弾性変化曲線に起伏がみられる場合が多く、また酢酸資化性酵母タンパク質や A-glu に比べて脂肪含有率がかなり高い。

この研究は九州大学農学部食糧化学工学科食品製造工学教室の野村男次教授ならびに早川功博士との共同研究である。なお本報告の概要は昭和49年4月26日の日本食品工業学会で連名で発表した。また、本稿をまとめるに当たり、種々懇切なご指導とご助言を賜わった。厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) 早川 功・稲神 馨：食品工誌，19，1～8 (1972)
- 2) 早川 功・稲神 馨：食品工誌，19，9～15 (1972)
- 3) 早川 功・Nguyen Duy Khai・野村男次：九大農学芸誌，26，529～535 (1972)
- 4) 早川 功・安松睦郎・野村男次：九大農学芸誌，27，123～132 (1973)
- 5) 早川 功・グエン，ジ，カイ・今村英子・野村男次：醸工誌，50，354～360 (1972)
- 6) 野村男次・早川 功・グエン，ジ，カイ：醸工誌，50，499～503 (1972)
- 7) 野村男次・早川 功・篠原和毅：醸工誌，52，35～39 (1974)
- 8) 田端義明：本誌，No.37，39～44，(1974)
- 9) H. MARKOVITZ：J. Appl. Phys., 23，1070 (1952)
- 10) 高分子学会レオロジー委員会：レオロジー測定法，共立出版，1965 pp.56
- 11) 三宅正人・林孝市郎・田中明子・丹羽栄二：日水誌，37，534～539 (1971)
- 12) 丹羽栄二・三宅正人・日水誌，37，973～975 (1971)
- 13) I. TAKAGI, and W. SIMIDU：Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 38，299～303 (1972)
- 14) I. TAKAGI, and W. SIMIDU：Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 38，865～868 (1972)